

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Patentschrift

(10) DE 196 28 321 C 1

(51) Int. Cl. 6:

H 04 J 15/00

H 04 J 14/06

DE 196 28 321 C 1

(21) Aktenzeichen: 196 28 321.3-51
(22) Anmeldetag: 13. 7. 96
(23) Offenlegungstag: —
(25) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 15. 1. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE

(72) Erfinder:

Sauer, Michael, Dipl.-Ing., 01217 Dresden, DE;
Nowak, Walter, Prof. Dr.-Ing.habil., 01067 Dresden, DE

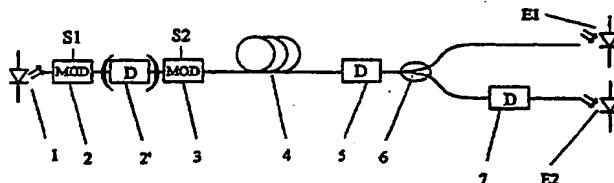
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 34 31 448 A1
EP 03 19 242 A2

(54) Multiplexverfahren für zwei Subcarrier und Anordnung hierzu

(57) Die Erfindung betrifft ein Multiplexverfahren für zwei Subcarrier eines optischen oder Mikrowellenträgers der gleichen oder etwa gleichen Frequenz. Die Erfindung betrifft außerdem eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Es beruht darauf, daß jeweils ein Subcarrier als Phasenmodulation, ein anderer als Intensitätsmodulation des Trägers vorliegt bzw. in diese gewandelt wird, wobei die Wandlung von Phasenmodulation in Intensitätsmodulation oder auch Intensitäts- in Phasenmodulation durch sogenannte Dispersionsglieder erfolgt. Die Detektion erfolgt aufgrund des vorliegenden Dispersionszustandes der Subcarrier und kann durch Einstellen der Gesamtdispersions dem jeweils optimalen Empfängertyp angepaßt werden. Auch wahlweises Empfangen eines Kanals ist durch Dispersionsänderung möglich. Als Dispersionsglieder können neben ohnehin vorhandenen dispersiven Wellenleitern zusätzliche Längen solcher Wellenleiter benutzt werden, aber auch kompakte disperse Elemente, wie z. B. Faser-Bragg-Gitter-Bauelemente für den optischen Bereich.



DE 196 28 321 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Multiplexverfahren für zwei Subcarrier eines optischen oder auch Mikrowellenträgers der gleichen oder etwa gleichen Frequenz. Es ist etwa dem Polarisationsmultiplex (polarization division multiple access PDMA) vergleichbar, da ebenfalls zwei Signale gleichzeitig über ein gemeinsames Medium übertragen werden, wobei hier die Stabilität und Robustheit gegenüber Störungen sehr hoch ist. Eine Erweiterung bestehender Übertragungsanäle durch die Erfindung oder die Kombination der Erfindung mit anderen Multiplexverfahren ist möglich .. Die Erfindung betrifft außerdem eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Es sind verschiedene Multiplexverfahren bekannt.

Man unterscheidet verschiedene Verfahren für mehrere Signale:

— Wellenlängen- bzw. Frequenzmultiplexverfahren (WDMA, FDMA) (z. B. A. H. Gnauck u. a.: "Compensating the compensator: a demonstration of nonlinearity cancellation in a WDM system", IEEE Photonics Technology Letters, Vol 7, S. 582—584, 1995),

— Zeitmultiplexverfahren (TDMA) (z. B. I. Glesk u. a.: "Demonstration of all-optical demultiplexing of TDM data at 250 Gbit/s", Electronics Letters, Vol. 30, S. 339—341, 1994),

— und Codemultiplexverfahren (CDMA) (z. B. E. Smith u. a.: "Noise limits of optical spectralencoding CDMA systems", Electronics Letters, Vol. 31, S. 1469—1470, 1995).

Für zwei Signale ist das Polarisationsmultiplexverfahren (PDMA) (z. B. Offenlegungsschrift EP 02 95 620 A2 "Doppelpolarisationsübertragungssystem") bekannt. Dabei sind die Signale in der Schwingungsrichtung durch ihren Polarisationszustand voneinander getrennt.

Alle Multiplexverfahren, einschließlich der Erfindung, dienen der Erhöhung der Übertragungskapazität von Übertragungsanälen und können miteinander kombiniert werden.

Außerdem ist aus der Patentschrift EP 03 19 242 A2 ein Multiplexverfahren für zwei Subcarrier verschiedener Subcarrierfrequenzen bekannt. Dort erfolgt die Unterscheidung der Kanäle am Empfänger ausschließlich und zwingend aufgrund der unterschiedlichen Subcarrierfrequenzen. Weiterhin ist aus der Patentschrift DE 34 31 448 A1 die Verwendung von Dispersionsgittern zum Multiplexen/Demultiplexen in Wellenlängenmultiplex-Systemen bekannt. Dabei wird ausgenutzt, daß solche Gitter Licht in Abhängigkeit der Wellenlänge in unterschiedlichem Winkel beugen. Die Unterscheidung der Kanäle erfolgt also aufgrund verschiedener Wellenlängen mehrerer Lichtsender.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen mit zwei unabhängigen Subcarriern der gleichen oder etwa gleichen Frequenz modulierten Träger über eine Strecke zu übertragen und die Subcarrier getrennt und wahlweise zu empfangen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Varianten des Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 12. Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Anordnung mit den Merkmalen nach Anspruch 13 gelöst. Eine vorteilhafte Ausgestaltung ergibt sich aus Anspruch 14.

Die Subcarriersignale werden so aufbereitet, daß auf der Übertragungsstrecke jeweils ein Subcarriersignal als Phasenmodulation, das andere als dazu orthogonale Intensitätsmodulation des Trägers vorliegt und daß durch sogenannte Dispersionsglieder Phasenmodulation in Intensitätsmodulation oder auch Intensitäts- in Phasenmodulation gewandelt werden. Diese Wandlung ist auch die Voraussetzung für die Verwendung gleicher Modulatoren und gleicher Empfänger für beide Subcarrier, wobei z. B. zwei Phasenmodulatoren (mit einem Dispersionsglied zwischen ihnen) und zwei optische Direktempfänger (ebenfalls unter Verwendung eines Dispersionsgliedes) benutzt werden können.

Bei Intensitätsmodulation sind alle Seitenfrequenzen mit dem Träger in Phase, bei Phasenmodulation sind die ungeraden Seitenfrequenzen 90° phasengedreht. Die (unvermeidbare) Gruppenlaufzeit addiert eine große mit der Frequenz linear zunehmende Phasendrehung, ohne daß die Modulation beeinflußt wird. Lineare Dispersion führt zu einer über der Frequenz quadratisch zunehmenden Phasendrehung und bewirkt, wie unten dargelegt, die genannten Modulationswandlungen. Der jeweilige Dispersionszustand, d. h. das arithmetische Mittel der Phase der 1. oberen und unteren Seitenfrequenz gegenüber der Phase des Trägers, ist das Auswahlkriterium zwischen den beiden Signalen. Das Verfahren wäre daher als Dispersionszustandsmultiplex oder kurz Dispersionsmultiplex (dispersion division multiple access, DDMA) zu bezeichnen.

Das sogenannte Dispersionsglied für die Umwandlung der Modulation muß eine lineare chromatische Dispersion aufweisen, die für die 1. obere und untere Seitenfrequenz zusätzlich zu der die Gruppenlaufzeit bewirkenden Phasendrehung zu einer Phasendrehung $\varphi = \pi/2$ oder $\varphi = -\pi/2$ gegenüber dem Träger führt. Chromatische Dispersion weisen z. B. optische Fasern und Hohlleiter auf. Wird der Phasenkoeffizient β in eine Taylor-Reihe um die Trägerfrequenz f_c entwickelt,

$$\beta(f) = \beta(f_c) + \frac{d\beta}{df} \Big|_{f_c} \cdot (f - f_c) + \frac{1}{2} \frac{d^2\beta}{df^2} \Big|_{f_c} \cdot (f - f_c)^2 + \dots,$$

so bestimmt der zweite Term die Gruppenlaufzeit, der dritte ruft die lineare Dispersion hervor. Mit Hilfe der z. B. von H. Schmuck in der Arbeit "Comparison of optical millimetre-wave system concepts with regard to chromatic dispersion" in Electronics Letters 31 (1995) No. 21, S. 1848—1849 angegebenen Gleichung

$$\phi = \pi L c D (f_m / f_c)^2$$

kann die Faserlänge L für eine für die Modulationswandlung benötigte Phasendrehung von $\phi = \pm \pi/2$ bestimmt werden. ($f - f_c$) ist identisch mit dem Frequenzabstand zwischen Träger und 1. Seitenfrequenz, also mit der Subcarrierfrequenz f_m . Für Vielfache der Seitenfrequenzen bei $f_c \pm n f_m$ gilt

5

$$\Phi_n = n^2 \cdot \phi$$

($f_c = \omega_c / 2\pi$ Lichtfrequenz, D Dispersionsparameter des Wellenleiters, c Lichtgeschwindigkeit, n natürliche Zahl).

10

Beispielsweise ist für $f_m = 60$ GHz, $\lambda = c/f_c = 1550$ nm und Standardfaser $L \approx 1$ km Durch Verwendung von Spezialfasern mit hohem Betrag von D , z. B. Dispersionskompensationsfasern, wird L entsprechend kleiner.

Für einen R 620-Hohlleiter ist bei $f_c = 60$ GHz $D = 0,708$ ns/(mm · mm), und es folgt für z. B. $f_m = 10$ GHz, $L = 23,54$ cm.

15

Dispersionsglieder können vorzugsweise auch mit konzentrierten dispersiven Bauelementen erzielt werden. Dadurch sind kompakte Ausführungen möglich. Im optischen Bereich können z. B. Bauelemente mit Faser-Bragg-Gittern von einigen cm Länge als entsprechende Glieder eingesetzt werden.

15

Der Vorteil der Erfahrung besteht darin, daß die Modulatoren und Empfänger vom gleichen und damit optimal auswählbarem Typ sind, insbesondere kann z. B. im optischen Fall einfacher Direktempfang mit einer Fotodiode benutzt werden.

15

Ebenso ist das Modulationsprinzip innerhalb der Subcarrier willkürlich, analog oder digital nach beliebigem Verfahren, es wird nur eine nicht extrem große Modulationsbandbreite im Verhältnis zur Subcarrierfrequenz vorausgesetzt. Die Übertragungsstrecke kann z. B. eine Glasfaserverbindung sein oder auch eine Millimeterwellenverbindung. Das Verfahren kann mit Wellenlängenmultiplex (WDMA), SCMA (Verwendung mehrerer Subcarrier ungleicher Frequenz) und auch anderen der bekannten Multiplexverfahren kombiniert werden.

20

Die Erfahrung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel an Hand der einzigen Fig. 1 näher erläutert.

25

Das Licht einer unmodulierten Laserquelle 1 wird im Intensitätsmodulator 2 mit dem Subcarriersignal S_1 der Frequenz $f_1 = \omega_1 / 2\pi$ und dem Modulationsindex m_1 moduliert. Die Feldstärke $E_2(t)$ (der Index an E bedeutet, daß die Feldstärke hinter dem entsprechenden Bauelement gemeint ist) lautet, wenn ein Mach-Zehnder-Modulator benutzt wird,

30

$$E_2(t) = E_0 \cos \omega_c t \cdot \cos(\Phi_0 + m_1 \cos \omega_1 t)$$

($f_c = \omega_c / 2\pi$ Lichtfrequenz, Φ_0 Modulatorarbeitspunkt).

Wählt man den Arbeitspunkt $\Phi_0 = \pi/4$, so ergibt sich

35

$$\sqrt{2} \cdot E_2(t) = E_0 [J_{01} \cos \omega_c t - J_{11} [\cos(\omega_c + \omega_1)t + \cos(\omega_c - \omega_1)t] - J_{21} [\cos(\omega_c - 2\omega_1)t + \cos(\omega_c + 2\omega_1)t] + \dots] \\ = E_0 \cos \omega_c t (J_{01} - 2J_{11} \cos \omega_1 t - 2J_{21} \cos 2\omega_1 t + 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots)$$

35

$J_{11} = J_i(m_1)$ ist die Besselsche Funktion 1. Art der Ordnung i . Quelle 1 und Modulator 2 von Fig. 1 sind auch durch eine direkt modulierte Laserdiode ersetzbar. Der Intensitätsmodulator 2 kann aber auch durch einen Phasenmodulator 2' ersetzt werden. Das angegebene Signal wird dem Phasenmodulator 3 mit der genau oder etwa gleichen Subcarrierfrequenz $f_2 = \omega_2 / 2\pi$ und dem Modulationsindex m_2 zugeführt, und es resultiert mit $J_{12} = J_i(m_2)$

40

$$\sqrt{2} \cdot E_3(t) = E_0 [J_{02} \cos \omega_c t - J_{12} [\sin(\omega_c + \omega_2)t + \sin(\omega_c - \omega_2)t] - J_{22} [\cos(\omega_c + 2\omega_2)t + \cos(\omega_c - 2\omega_2)t] + \dots] \\ = E_0 \cos \omega_c t (J_{02} - 2J_{12} \cos 2\omega_2 t + 2J_{42} \cos 4\omega_2 t + \dots) + \sin \omega_c t (2J_{12} \cos \omega_2 t - 2J_{32} \cos 3\omega_2 t + \dots)$$

45

Es liegt, wie die $\sin \omega_c t$ -Glieder zeigen, Phasenmodulation mit ω_2 und Intensitätsmodulation mit ω_1 vor. Nur letztere ist durch einfachen Direktempfang detektierbar.

Durch das Dispersionsglied 5 in Fig. 1 werden alle Spektrallinien, außer dem Träger, um $n^2 \phi$ phasengedreht, d. h. für vollständige Wandlung der Modulation mit $\phi = \pm \pi/2$ ergibt sich

50

$$\omega_c \pm \omega_1, \omega_c \pm \omega_2, \omega_c \pm (2\omega_1 - \omega_2), \dots \text{ um } \pm \pi/2, \\ \omega_c \pm 2\omega_1, \omega_c \pm 2\omega_2, \omega_c \pm (\omega_1 + \omega_2), \omega_c \pm (3\omega_1 - \omega_2), \dots \text{ um } \pm 2\pi, \text{ usw.}$$

55

Es resultiert nach Zusammenfassung:

60

$$\sqrt{2} E_4 = E_0 \cos \omega_c t (J_{01} - 2J_{21} \cos 2\omega_1 t + \dots) (J_{02} \pm 2J_{12} \mp \cos \omega_2 t - 2\omega_1 \pm + \mp \dots) \\ + \sin \omega_c t (-2J_{11} \cos \omega_1 t - 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots) (\mp J_{02} - 2J_{12} \cos \omega_2 t \pm J_{22} \cos 2\omega_2 t + \mp \dots)$$

60

Jetzt liegt Phasenmodulation mit ω_1 und Intensitätsmodulation mit ω_2 vor. Abgesehen von nicht entscheidenden Vorzeichen entsprechen sich die Gleichungen für E_3 und E_4 bei Vertauschung der Indizes 1 und 2 vollständig. Daher wird hinter dem Dispersionsglied der zu $m_2 \cos \omega_2 t$ gehörende Subcarriersignal S_2 direkt empfangen.

65

Das Gesamtsignal kann auch in einem Leistungsteiler 6 getrennt werden, vgl. Fig. 1. Am direkten Empfänger E_1 läßt sich das Subcarriersignal S_2 , am Empfänger E_2 nach einem weiteren Dispersionsglied 7 wieder Subcar-

riessignal S1 empfangen.

Patentansprüche

5 1. Multiplexverfahren für zwei Subcarrier, die mit der gleichen oder etwa gleichen Frequenz betrieben werden, wobei eingangsseitig die Subcarriersignale (S1 und S2) dem Träger (1) so aufmoduliert werden, daß auf der Übertragungsstrecke (4) gleichzeitig ein intensitäts- und ein phasenmoduliertes Signal übertragen werden und ausgangsseitig die Signale so gewandelt werden, daß sie für den jeweiligen Empfängertyp (E1, E2) maximal detektierbar sind, wobei die Aufbereitung und Wandlung der Signale durch Dispersionsglieder (2', 5, 7) vorgenommen wird, die Phasen- in Intensitätsmodulation oder Intensitäts- in Phasenmodulation wandeln.

10 2. Multiplexverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Träger ein optischer Träger verwendet wird und für die Aufbereitung der Subcarriersignale (S1, S2) und/oder für die Wandlung der Signale zur Detektion durch die Empfänger (E1, E2) optische Dispersionsglieder (2', 5, 7) verwendet werden, die Phasen- in Intensitätsmodulation oder umgekehrt wandeln.

15 3. Multiplexverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß, daß Glasfaserübertragung und optischer Direktempfang angewandt werden.

20 4. Multiplexverfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Dispersionsglied (2', 5, 7) die natürliche Dispersion der Faser genutzt wird.

25 5. Multiplexverfahren nach Anspruch 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Dispersionsglied zusätzliche Längen von Standardfasern oder von Spezialfasern mit hohem Betrag der Dispersion, wie Dispersionskompen-sationsfasern oder kompakte dispersive Elemente verwendet werden.

30 6. Multiplexverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Dispersionsglieder Faser-Bragg-Gitter verwendet werden.

35 7. Multiplexverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexion gechirpter Faser-Bragg-Gitter ausgenutzt wird.

40 8. Multiplexverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Dispersion der Transmission von Faser-Bragg-Gittern ausgenutzt wird.

45 9. Multiplexverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Mikrowellen, wie Millimeterwellen, als Träger verwendet werden.

50 10. Multiplexverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß als Dispersionsglied disperse Wellenleiter, wie Rechteckkohlleiter, verwendet werden.

55 11. Multiplexverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Subcarrier selbst analog oder digital nach beliebigem Verfahren moduliert werden.

60 12. Multiplexverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Übertragungsstrecke (4) nach Multiplexverfahren, wie WDMA, SCMA, TDMA, modulierte Signale zusätzlich übertragen werden.

65 13. Anordnung zur Durchführung des Multiplexverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bestehend aus einer schmalbandigen Quelle (1), einer Übertragungsstrecke (4) und Empfängern (E1, E2), wobei eingangsseitig für die Subcarriersignale (S1, S2) Modulatoren (2, 3) vorgesehen sind, die je ein intensitäts- und ein phasenmoduliertes Subcarrersignal der Übertragungsstrecke (4) zur Verfügung stellen oder bei gleichartigen Modulatoren (2, 3) zumindest ein Dispersionsglied (2') eingangsseitig vorgesehen ist, so daß die beiden Subcarriersignale (S1, S2) als intensitäts- und phasenmodulierte Signale vorliegen, daß ausgangsseitig gegebenenfalls ein Dispersionsglied (5) zum Ausgleich für die Streckendispersion und weitere Dispersionsglieder vorgesehen werden, wenn bei Empfängern (E1, E2) gleichen Typs das eine oder das andere Subcarrersignal empfangen werden soll.

70 14. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die schmalbandige Quelle (1) eine schmalbandige Lichtquelle und die Empfänger (E1, E2) Fotoempfänger sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

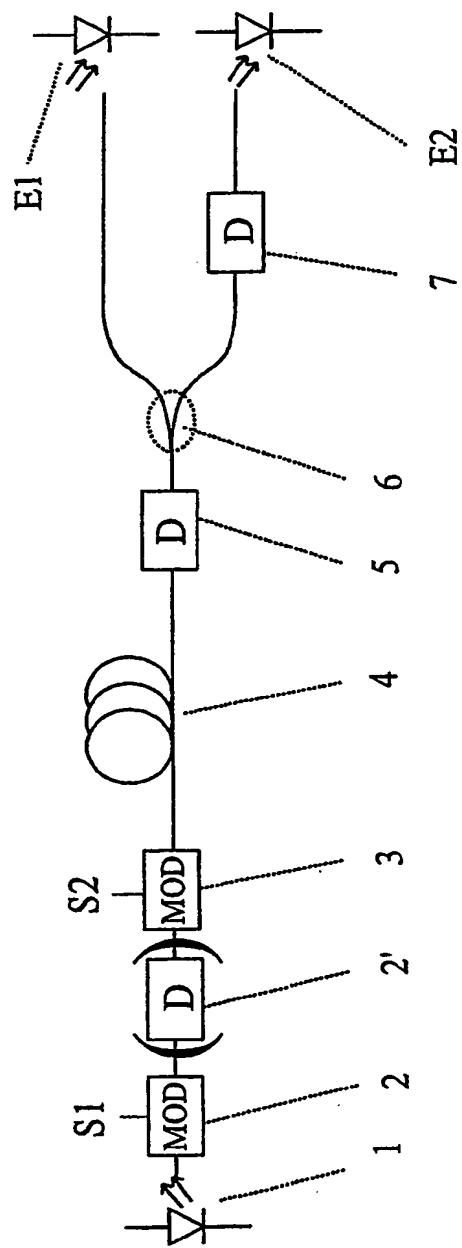
50

55

60

65

- Leerseite -



Figur 1

The invention relates to a method of multiplexing two subcarriers of an optical or microwave carrier of the same or substantially the same frequency. It is comparable with polarization division multiple access (PDMA), in which two signals are also simultaneously transmitted via a common medium, imparting very high stability and robustness in respect of interference. The invention or a combination of the invention with other multiplexing methods may be employed as a means of broadening existing transmission channels. The invention further relates to a system for implementing the method.

Various types of multiplexing methods are known.

Different methods are used for processing several signals:

- Wavelength or frequency division multiple access methods (WDMA, FDMA) (e. g. A. H. Gnauck, amongst others: "Compensating the compensator: a demonstration of nonlinearity cancellation in a WDM system", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 7, P. 582-584, 1995),
- Time division multiple access methods (TDMA) (e.g. I. Glesk, amongst others: "Demonstration of all-optical demultiplexing of TDM data at 250 G/bit/s", Electronic Letters, Vol. 30, P. 339-341, 1994),
- and code division multiple access methods (CDMA) (e.g. E. Smith, amongst others: "Noise limits of optical spectral encoding CDMA systems", Electronic Letters, Vol. 31, P. 1469-1470, 1995).

Polarisation division multiple access (PDMA) is a method used in a known approach to processing two signals (e.g. patent publication EP 02 95 620 A2 "Dual polarisation transmission system"). In this instance, the signals are separated from one another in the oscillation direction on the basis of their state of polarisation.

All multiplexing methods, including that proposed by the invention, are used as a means of increasing the transmission capacity of transmission channels and can be used in combination with one another.

Patent specification EP 03 19 242 A2 also describes a multiplexing method used for two subcarriers with different subcarrier frequencies. In this case, the channels are differentiated at

the receiver exclusively and necessarily on the basis of the different subcarrier frequencies. Patent specification DE 34 41 448 A1 also describes the use of diffraction gratings for multiplexing/demultiplexing in wavelength division multiple access systems. This approach is based on the fact that such gratings bend light at a different angle depending on wavelength. The distinction between the channels is therefore based on the different wavelengths of several optical transmitters.

The objective of the invention is to transmit a modulated carrier with two independent subcarriers of the same or substantially the same frequency across a transmission route and to receive the subcarriers separately and selectively.

This objective is achieved by the invention by means of a method incorporating the characterising features defined in claim 1. Advantageous embodiments of the invention are defined in dependent claims 2 to 12. This objective is also achieved by means of a system having the characterising features defined in claim 13. Another advantageous embodiment is specified in claim 14.

The subcarrier signals are prepared so that one subcarrier signal on the transmission route is present as a phase modulation and the other as an intensity modulation of the carrier orthogonal thereto and what are referred to as dispersion elements are used to transform phase modulation into intensity modulation or alternatively intensity modulation into phase modulation. This transformation is also the prerequisite which enables same modulators and same receivers to be used for both subcarriers, for which purpose two phase modulators (with a dispersion element between them) and two optical direct receivers (also using a dispersion element) may be used, for example.

During intensity modulation, all side frequencies are in phase with the carrier, whereas during phase modulation the odd side frequencies are phase-shifted by 90°. The (unavoidable) group delay adds a large phase shift which increases with the frequency on a linear basis, without affecting the modulation. Linear dispersion leads to a phase shift which increases quadratically over the frequency, giving rise to said modulation transformations, as explained below. The respective dispersion state, i.e. the arithmetic mean of the phase of the 1st upper and lower side frequency relative to the phase of the carrier, is the criterion on which selection of the two signals is based. The method might therefore be termed a dispersion division multiple access or dispersion multiplex (DDMA).

The so-called dispersion element for transforming the modulation must have a linear

chromatic dispersion, which, in addition to the phase shift causing the group delay, also gives rise to a phase shift $\phi = \pi/2$ or $\phi = -\pi/2$ relative to the carrier for the 1st upper and lower side frequency. Optical fibres and wave guides have chromatic dispersion, for example. If the phase coefficient β in a Taylor series is expanded by the carrier frequency f_c , then

$$\beta(f) = \beta(f_c) + \frac{d\beta}{df} \Big|_{f_c} \cdot (f - f_c) + \frac{1}{2} \frac{d^2\beta}{df^2} \Big|_{f_c} \cdot (f - f_c)^2 + \dots$$

in which the second term will define the group delay and the third will generate the linear dispersion. Using the equation

$$\phi = \pi L c D (f_m f_e)^2$$

specified by H. Schmuck in the article "Comparison of optical millimetre-wave system concepts with regard to chromatic dispersion" published in Electronics Letters 31 (1995) No. 21, P. 1848-1849, the fibre length L for a phase shift of $\phi = \pm \pi/2$ needed for the modulation transformation can be defined. $(f - f_e)$ is identical to the frequency distance between carrier and 1st side frequency, in other words to the subcarrier frequency f_m . For multiples of the side frequencies where $f_e + n f_m$, the following equation applies

$$\phi_n = n^2 \cdot \phi$$

(where $f_c = \omega_c / 2\pi$ is the light frequency, D is the dispersion parameter of the waveguide, c is the speed of light, n is a natural number).

For example, if $f_m = 60$ GHz, then $\lambda = c/f_c = 1550$ nm and standard fibre $L = 1$ km. By using special fibres with a high value of D , e.g. dispersion-compensating fibres, L becomes correspondingly smaller.

In the case of a R 620 waveguide in which $f_c = 60$ GHz, $D = 0.708$ ns/(m.mm) and it therefore follows that if $f_m = 10$ GHz f_e , $L = 23.54$ cm.

It may also be preferable to set dispersion elements up using concentrated dispersive components. This enables compact designs to be made. In the optical range, for example, components with fibre Bragg gratings of a few cm in length may be used for these elements.

The advantage of the invention is that the modulators and receivers are of the same type, which means that the optimum type can be selected, and in the case of optical systems, direct reception can be achieved with a photodiode in particular, for example.

Likewise, any modulation principle may be used within the subcarrier, analogue or digital, and any method used, the only condition being a modulation bandwidth which is not extremely large relative to the subcarrier frequency. The transmission route may be an optical

fibre connection, for example, or alternatively a millimetre wave connection. The method may be combined with wavelength division multiplexing (WDMA), SCMA (use of several subcarriers of different frequency) as well as with any other of the known multiplexing systems.

The invention will be explained in more detail below with reference to an embodiment illustrated in the appended drawing of Fig. 1.

The light of an unmodulated laser source 1 is modulated in the intensity modulator 2 with the subcarrier signal S_1 of frequency $f_1 = \omega_1/2\pi$ and modulation index m_1 . The field strength is $E_2(t)$ (the index given for E refers to the field strength downstream of the corresponding component) if Mach-Zehnder modulation is used

$$E_2(t) = E_0 \cos \omega_c t \cong \cos(\varphi_0 + m_1 \cos \omega_1 t)$$

($f_c = \omega_c/2\pi$ light frequency, φ_0 modulator operating point).

If the operating point $\varphi_0 = \pi/4$ is selected, this will give

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \cong E_2(t) &= E_0 \{ J_{01} \cos \omega_c t - J_{11} [\cos(\omega_c + \omega_1)t + \cos(\omega_c - \omega_1)t] - J_{21} [\cos(\omega_c - 2\omega_1)t + \cos(\omega_c + 2\omega_1)t] + \dots \} \\ &= E_0 \cos \omega_c t (J_{01} - 2J_{11} \cos \omega_1 t - 2J_{21} \cos 2\omega_1 t + 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots) \end{aligned}$$

$J_{i1} / J_i(m_1)$ is the 1st type Bessel function of the order i. Source 1 and modulator 2 of Fig. 1 may also be replaced by a directly modulated laser diode. However, the intensity modulator 2 may also be replaced by a phase modulator 2 and a dispersion element 2'. The specified signal is applied to the phase modulator 3 with the exact or substantially the same subcarrier frequency $f_2 = \omega_2/\pi$ and the modulation index m_2 , and if $J_{i2} / J_i(m_2)$ this will result in

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \cong E_3(t) &= E_0 \{ J_{02} \cos \omega_c t - J_{12} [\sin(\omega_c + \omega_2)t + \sin(\omega_c - \omega_2)t] - J_{22} [\cos(\omega_c - 2\omega_2)t + \cos(\omega_c + 2\omega_2)t] + \dots \} \\ &\cong [J_{01} - 2J_{11} \cos \omega_1 t - 2J_{21} \cos 2\omega_1 t + 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= E_0 [\cos \omega_c t (J_{02} - 2J_{22} \cos 2\omega_2 t + 2J_{42} \cos 4\omega_2 t + \dots) + \sin \omega_c t (2J_{12} \cos \omega_2 t - 2J_{32} \cos 3\omega_2 t + \dots)] \cong (J_{01} - 2J_{11} \cos \omega_1 t - J_{21} \cos 2\omega_1 t + 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots) \end{aligned}$$

As indicated by the $\sin \omega_c t$ elements, phase modulation uses ω_2 and intensity modulation uses ω_1 . Only the latter can be detected by simple direct reception.

As a result of the dispersion element 5 in Fig. 1, all spectral lines apart from the carrier are phase shifted by $n^2\phi$, i.e. full transformation of the modulation where $\phi = \pm \pi/2$ gives $\omega_c \pm \omega_1, \omega_c \pm \omega_2, \omega_c \pm (2\omega_1 - \omega_2), \dots$ by $\pm \pi/2$, $\omega_c \pm 2\omega_1, \omega_c \pm 2\omega_2, \omega_c \pm (\omega_1 + \omega_2), \omega_c \pm (3\omega_1 - \omega_2), \dots$ by $\pm 2\pi$, etc.

The result after combination is:

$$\begin{aligned} \sqrt{2} E_4 = & E_0 \cos \omega_c t (J_{01} - 2J_{21} \cos 2\omega_1 t + \dots) (J_{02} \pm 2J_{12} K \cos \omega_2 t - 2\omega_1 K + K \dots) \\ & + \sin \omega_c t (-2J_{11} \cos \omega_1 t - 2J_{31} \cos 3\omega_1 t + \dots) (K J_{02} - 2J_{12} \cos \omega_2 t \pm J_{22} \cos 2\omega_2 t + K \dots). \end{aligned}$$

Phase modulation now takes place on the basis of ω_1 and intensity modulation on the basis of ω_2 . Apart from the non-decisive preceding sign, the equations for E_3 and E_5 correspond to a total switch of the indices 1 and 2. Consequently, the subcarrier signal S2 belonging to $m_2 \cos \omega_2 t$ is received directly, downstream of the dispersion element.

The total signal may also be separated in a power divider 6, see Fig. 1. The subcarrier signal S2 can be received on the direct receiver E1 and subcarrier signal S1 is received on the receiver E2 downstream of another dispersion element 7 again.

Claims

1. Multiplexing method for two subcarriers operated with the same or substantially the same frequency, in which the subcarrier signals (S1 and S2) are modulated onto the carrier (1) on the input side and an intensity-modulated and a phase-modulated signal is transmitted simultaneously across the transmission route (4), and the signals are transformed on the output side so that they can be detected to the maximum by the respective receiver type (E1, E2), the signals being prepared and transformed by means of dispersion elements (2', 5, 7), and the phase modulation is transformed into intensity modulation or the intensity modulation into phase modulation.
2. Multiplexing method as claimed in claim 1, characterised in that an optical carrier is used as the carrier and optical dispersion elements (2', 5, 7) which transform phase modulation into intensity modulation or vice versa are used for preparing the subcarrier signals (S1, S2) and/or for transforming the signals with a view to detection by the receivers (E1, E2).
3. Multiplexing method as claimed in claim 2, characterised in that optical fibre transmission and optical direct reception are used.

4. Multiplexing method as claimed in claim 2 or 3, characterised in that the natural dispersion of the fibres is used as a dispersing element (2', 5, 7).
5. Multiplexing method as claimed in claim 2 to 4, characterised in that additional lengths of standard fibres or special fibres with a high amount of dispersion, such as dispersion-compensating fibres or compact dispersive elements, are used as a dispersion element.
6. Multiplexing method as claimed in claim 5, characterised in that fibre Bragg gratings are used as a dispersion element.
7. Multiplexing method as claimed in claim 6, characterised in that use is made of the reflection of chirped fibre Bragg gratings.
8. Multiplexing method as claimed in claim 6, characterised in that use is made of the transmission dispersion of fibre Bragg gratings.
9. Multiplexing method as claimed in claim 1, characterised in that microwaves, such as millimetre waves, are used as carriers.
10. Multiplexing method as claimed in claim 9, characterised in that dispersive waveguides, such as rectangular waveguides, are used as a dispersion element.
11. Multiplexing method as claimed in one of claims 1 to 10, characterised in that the subcarriers themselves are modulated by analogue or digital and by any method.
12. Multiplexing method as claimed in one of claims 1 to 11, characterised in that modulated signals are additionally transmitted on the transmission route (4) using multiplexing systems such as WDMA, SCMA, TDMA.
13. System for implementing the multiplexing method as claimed in one of claims 1 to 12, consisting of a narrow band source (1), a transmission route (4) and receivers (E1, E2), modulators (2, 3) being provided for the subcarrier signals (S1, S2) on the input side, each of which outputs an intensity-modulated and a phase-modulated subcarrier signal to the transmission route (4) or if modulators (2, 3) of the same type are used at least one dispersion element (2') is provided on the input side so that the two subcarrier signals (S1, S2) are present in the form of intensity-modulated and phase-modulated signals, a dispersion element (5) also being provided on the output side for compensating the dispersion on the transmission route, and other dispersion elements are provided if receivers (E1, E2) of the same type are used and one or the other subcarrier signal has to be received.
14. System as claimed in claim 13, characterised in that the narrow band source (1) is a narrow band light source and the receivers (E1, E2) are photoelectric receivers.

DE 196 28 321 C1